

4.Воронкин А.С., Юрченко А.И., Браславец А.И., Власенко П.И. Кумуляция хлороорганических пестицидов в воде, донных отложениях и гидробионтах Печенежского водохранилища // Проблемы охраны навколишнього природного середовища та техногенна безпека: Зб. наук. праць. – Харків: УкрНДІП, 2000. – С.191-197.

5.Подоба Я.Г., Кирюхин А.М., Белогуров В.П. Основные положения межрегиональной экологической программы по охране и использованию вод бассейна реки Северский Донец // РЕГИОН. Спецвыпуск, декабрь 2003 г. – С.61- 65.

Отримано 30.10.2007

УДК 528.8.041 : 574.524

Ф.Т.ШУМАКОВ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЕВТРОФИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ

Анализируется возможность использования материалов космических съемок сканера ЕТМ+ и радиолокационных сенсоров SIR-C и X-SAR для мониторинга антропогенного евтрофирования водоемов Украины. В качестве объекта исследований были выбраны основные водохранилища Харьковской области. Разработаны технологии для трофической классификации водоемов Украины и для построения моделей рельефа и уклонов водосборных бассейнов.

В настоящее время во многих странах мира широко исследуются процессы антропогенного евтрофирования озер, водохранилищ и морей. Это нашло отражение в многочисленных работах по этой проблеме [1-3].

Увеличение продуктивности водоемов при их старении – естественный процесс евтрофирования, обычно длящийся века. Однако в последнее время в некоторых озерах, морях отмечено резкое возрастание скорости этого процесса – евтрофирование осуществляется за десятилетия или даже за меньший период. Повышение содержания биогенных веществ в воде приводит к интенсивному увеличению продуктивности, ухудшению качества воды, ее природных свойств и снижению эстетической ценности этого природного ресурса. Подобный негативный процесс может быть ослаблен, остановлен и даже направлен в обратную сторону с помощью соответствующих методов; в конечном счете, качество воды может быть восстановлено. Это ускоренное, или «антропогенное», евтрофирование вызывается преимущественно увеличением выноса фосфора и азота с суши в водоемы за счет усиления хозяйственной деятельности на водосборах. Интенсификация сельскохозяйственного производства (возрастающее использование фосфорсодержащих удобрений) и процессы урбанизации (особенно в связи со сбросом в озера сточных вод и коммунальные стоки городов) – главные источники поступления биогенных веществ. Воздействие

антропогенного евтрофирования в первую очередь проявляется в озерах и водохранилищах, так как относительная неподвижность среды в них способствует накоплению присутствующих в водной толще биогенных веществ. Пресноводные озера и водохранилища деградируют и исчезают с все более увеличивающейся скоростью. Деятельность человека и его пассивность – главные причины быстрой деградации водоемов [2].

Миграция населения в город, возникшая в период промышленной революции, привела к увеличению отходов на единицу площади, превысив, таким образом, ассимилирующую способность окружающей среды и вызвав накопление сточных вод в городах. Чтобы свести к минимуму угрозу заболевания населения, были построены сооружения для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, а также поверхностного стока с урбанизированных территорий. Указанная система хотя и решила данную проблему в городах, но при этом передвинула ее на водоемы – приемники сточных и коммунальных вод [2].

Антропогенное евтрофирование водоемов не произойдет, если биогенные вещества, используемые человеком, будут надежно контролироваться. Эффективное управление стока биогенов предотвратит также ненужные затраты на очистку питьевого водоснабжения городов. Все формы антропогенного переноса биогенных веществ поверхностными водами могут быть сокращены до приемлемых уровней различными способами [3].

Хотя трофическое состояние водоемов определяется в основном концентрациями биогенных веществ, содержащихся в водной массе, регулярные наблюдения за указанными параметрами проводить трудно, и поэтому часто на практике используют в качестве индикаторов другие биохимические характеристики воды, которые могут быть тесно связаны с трофическим состоянием водоема. Например, увеличение степени трофии, вероятно, приводит к возрастанию биомассы, определяемой по изменению количества хлорофилла-А или в какой-то степени глубины видимости диска Секки.

Наиболее широко используемый самый старый метод приближенной оценки трофического состояния водоемов основан на использовании диска Секки [2]. С помощью этого метода можно измерить общую мутность воды озера, являющуюся результатом поступления в водоем как органических, так и неорганических веществ. Глубина видимости диска обратно пропорциональна плотности популяций водорослей в воде, так как взвешенное вещество будет рассеивать падающий свет, и увеличивать его ослабление. Глубина видимости диска

Секки в воде, следовательно, некоторым образом связана с первичной продуктивностью вод, которая является показателем трофического состояния водоема: олиготрофные водоемы – более 6,0 м, мезотрофные – от 3 до 6,0 м, евтрофные – менее 3 м.

Хлорофилл-А является основным фотосинтетическим пигментом, поэтому измеренное значение его концентрации в пробе воды является репрезентативным индикатором биомассы водорослей. Он является полезной и точной мерой евтрофирования водоемов и поэтому регулярно используется при измерении «откликов» водоемов на биогенную нагрузку с целью их восстановления. Диапазоны концентрации хлорофилла-А в водоемах разной трофности следующие: олиготрофные – от 0 до 4 мг/м³, мезотрофные – от 4 до 10 мг/м³, евтрофные – от 10 до 100 мг/м³ [2].

В настоящее время для трофической классификации водоемов используются индексы трофического состояния (ИТС) водоемов, связанные с концентрациями содержания хлорофилла-А, общего фосфора, а также степени мутности воды, которым принадлежит наиболее существенная роль при составлении объективной характеристики водоема и осуществлении имитационных расчетов. Наиболее широко используются ИТС, разработанные Р.Карлсоном [4]. Шкала этого индекса является численной (табл.1), что дает возможность определять большое число индивидуальных классов озер. Каждая основная область (10, 20, 30 и т.д.) трофического деления представляет собой удвоение концентрации поверхностной биомассы фитопланктона, которая делает классификацию трофического состояния более приемлемой. Численное значение ИТС можно рассчитать по значению прозрачности воды по диску Секки (ДС) и по концентрациям содержания в воде хлорофилла-А (ХлА) и общего фосфора (Р), используя формулы [4]:

$$\text{ИТС}_{(\text{ДС})} = 60 - 14,41 \ln(\text{ДС}); \quad (1)$$

$$\text{ИТС}_{(\text{ХлА})} = 9,81 \ln(\text{ХлА}) + 30,6; \quad (2)$$

$$\text{ИТС}_{(\text{Р})} = 14,42 \ln(\text{Р}) + 4,15. \quad (3)$$

В настоящее время в США для изучения процессов евтрофирования и трофической классификации водоемов широко используются материалы космических съемок со спутников серии Landsat, AQUA (Modis), Terra (Aster), Ikonos, QuikBird [5-7] и др. В этих работах показано, что данные космических съемок широко используются для мониторинга трофического состояния и антропогенного евтрофирования более 20000 озер в различных штатах США.

Целью данной работы является разработка технологии использования данных сканера ЕТМ+ спутника Landsat-7 для мониторинга трофического состояния и процессов антропогенного евтрофирования

озер и водохранилищ Украины, так как на Украине не проводится космических мониторинг евтрофирования водоемов.

Таблица 1 – Полная шкала ИТС и показателей трофического состояния водоемов [4]

ИТС	ДС, м	Р, мкг/л	ХлА, мкг/л
0	64	0,75	0,04
10	32	1,5	0,12
20	16	3	0,34
30	8	6	0,94
40	4	12	2,6
50	2	24	6,4
60	1	48	20
70	0,5	96	56
80	0,25	192	154
90	0,12	384	427
100	0,062	786	1183

При разработке данной технологии использовались данные гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических исследований внутренних водоемов, полученные в 1982-1984 гг. Всесоюзным научно-исследовательским институтом по охране вод и Институтом озеро-ведения АН СССР, а также данные по Днепровским водохранилищам и Шацким озерам. В работе также использовались методики использования космических снимков, полученных со спутников серии «Космос» и «Метеор» для мониторинга качества воды во внутренних водоемах [8-11].

В работе использовался корреляционный и регрессионный анализ в «Microsoft Office Excel 2003» данных контактных измерений прозрачности воды по диску Секки и хлорофилла-А и данных яркостей водной поверхности на космических снимках ТМ1-ТМ8 сканера ЕТМ+ спутника Landsat-7. В табл.2 приведена матрица корреляции для определения корреляционных связей между данными прозрачности воды по диску Секки и данными о яркостях водных поверхностей полученными со снимков. В табл.3 приведена матрица корреляции для определения корреляционных связей между данными содержания в воде хлорофилла-А и данными о яркостях водных поверхностей, полученными со снимков. Из анализа матрицы коэффициентов корреляции для прозрачности воды наилучшая корреляция была для $\ln(\text{ДС})$ с ТМ4 ($r = -0,72$) и с ТМ1/ТМ3 ($r = 0,74$). Для содержания в воде хлорофилла-А наилучшие корреляции были получены для $\ln(\text{ХлА})$ с ТМ4 ($r = 0,83$), ТМ8 ($r = 0,84$) и ТМ1/ТМ2 ($r = -0,76$).

Таблица 2 – Матрица коэффициентов корреляции между зональными яркостями водной поверхности изображений сканера ETM+ спутника Landsat-7 и прозрачностью воды по диску Секи

	ДС	ln ДС	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM8	TM1 / TM2	TM1 / TM3	TM2 / TM3
ДС	1											
ln ДС	0,95	1										
TM1	0,23	0,31	1									
TM2	0,38	0,46	0,94	1								
TM3	0,47	0,55	0,89	0,96	1							
TM4	0,70	0,72	0,42	0,55	0,62	1						
TM5	0,29	0,39	0,76	0,76	0,77	0,54	1					
TM7	0,16	0,27	0,60	0,59	0,58	0,26	0,65	1				
TM8	0,43	0,53	0,91	0,96	0,95	0,64	0,81	0,61	1			
TM1 / TM2	0,63	0,68	0,53	0,77	0,77	0,70	0,51	0,33	0,75	1		
TM1 / TM3	0,71	0,74	0,45	0,64	0,79	0,73	0,53	0,32	0,68	0,82	1	
TM2 / TM3	0,49	0,51	0,19	0,25	0,51	0,46	0,33	0,19	0,34	0,30	0,79	1

Таблица 3 – Матрица коэффициентов корреляции между зональными яркостями водной поверхности изображений сканера ETM+ спутника Landsat-7 и содержанием в воде хлорофилла-А

	ХлА	ln ХлА	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM8	TM1 / TM2	TM1 / TM3	TM2 / TM3
ХлА	1											
ln ХлА	0,63	1										
TM1	0,12	0,40	1									
TM2	0,40	0,78	0,67	1								
TM3	0,30	0,68	0,63	0,85	1							
TM4	0,69	0,83	0,29	0,77	0,64	1						
TM5	0,51	0,57	0,22	0,54	0,46	0,68	1					
TM7	0,14	0,27	0,20	0,24	0,28	0,21	0,46	1				
TM8	0,63	0,84	0,42	0,86	0,74	0,89	0,69	0,29	1			
TM1 / TM2	-0,39	-0,76	-0,34	-0,92	-0,77	-0,77	-0,53	-0,20	-0,83	1		
TM1 / TM3	-0,26	-0,62	-0,31	-0,71	-0,93	-0,60	-0,43	-0,24	-0,67	0,77	1	
TM2 / TM3	0,13	0,07	-0,02	0,15	-0,39	0,13	0,06	-0,10	0,10	-0,16	0,51	1

Используя эти результаты и методы регрессионного анализа, в «Microsoft Office Excel 2003» были получены уравнения множественной регрессии между зональными яркостями водной поверхности изображений сканера ETM+ спутника Landsat-7 и прозрачностью воды по диску Секи и содержанием в воде хлорофилла-А:

$$\ln(DC) = 1,807701TM1/TM3-0,10274TM4-1,55878, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,63;$$

$$\ln(X_{лА})=1,289045+0,074961TM4+0,131353TM8-1,74883TM1/TM2, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,75.$$

Из анализа полученных уравнений множественной регрессии следует, что для хлорофилла-А была получена более тесная связь с данными космических изображений – квадрат множественной корреляции $R^2 = 0,75$, а для прозрачности $R^2 = 0,63$. Уравнения (формулы (4), (5)) множественной линейной регрессии совместно с индексами трофического состояния (формулы (1)-(3)) составляют основу технологии для трофической классификации озер и водохранилищ Украины.

При дистанционном мониторинге евтрофирования водоемов Украины мы использовали многозональные космические снимки, полученных с космического аппарата (КА) Landsat-7 в восьми зонах спектра. Основной аппаратурой КА Landsat-7 является усовершенствованный (по сравнению с его аналогами на ранее запущенных КА серии Landsat) многоспектральный оптико-механический сканирующий радиометр ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Радиометр ETM+ рассчитан на получение изображений поверхности Земли в восьми участках видимого и инфракрасного диапазонов спектра (от 0,45 до 12,5 мкм, в том числе в панхроматическом диапазоне – от 0,52 до 0,9 мкм). При номинальной высоте полета 705 км радиометром ETM+ обеспечивается обзор полосы земной поверхности шириной 183 км. Размер элемента разрешения составляет 15 м² в панхроматическом режиме, 30 м² – в видимом и ближнем инфракрасном, 60 м² – в тепловом инфракрасном диапазонах спектра. Характеристики сканера ETM+ спутника Landsat-7 приведены в табл.4.

Таблица 4 – Спецификация сканера ETM+ спутника Landsat-7

Спектральные каналы	Спектральные диапазоны, мкм	Пространственное разрешение, м	Ширина обзора, км
TM1	0,45-0,515	30	183
TM2	0,525-0,605	30	183
TM3	0,63-0,69	30	183
TM4	0,75-0,9	30	183
TM5	1,55-1,75	30	183
TM6	10,4-12,5	60	183
TM7	2,09-2,35	30	183
TM8 PAN	0,52-0,9	15	183

На рис.1-9 представлены синтезированные космические изображения сканера ЕТМ+ спутника Landsat-7 Печенежского, Краснооскольского и Краснопавловского водохранилищ Харьковской области.

Синтез изображений выполнялся с помощью пакета программ ERDAS IMAGINE 8.7. Professional. Рис.1-3 получены с помощью синтеза изображений в трех каналах сканера ЕТМ+ ТМ3, ТМ2, ТМ1. Рис.4-6 получены с помощью синтеза изображений в трех каналах сканера ЕТМ+ ТМ4, ТМ3, ТМ2. Рис.7-9 получены с помощью синтеза изображений в трех каналах сканера ЕТМ+ ТМ7, ТМ4, ТМ2. Из анализа этих изображений видно, что в нижней части Печенежского и Краснооскольского и в центральной части Краснопавловского водохранилища наблюдается «цветение» воды. Эти синтезированные изображения можно использовать для трофической классификации водных объектов, а также для изучения водосборных территорий с целью оценки их влияния на антропогенное евтрофирование водоемов.

В табл.5-7 представлены результаты трофической классификации Печенежского, Краснооскольского и Краснопавловского водохранилищ, использовалась разработанная нами технология дистанционного зондирования. Эта технология основана на построениях уравнений множественной линейной регрессии между данными ТМ1, ТМ2, ТМ3, ТМ4, ТМ8 и содержанием в водоемах хлорофилла-А и прозрачностью воды по диску Секки. В этой технологии дистанционного зондирования трофического состояния водоемов использовался пакет программ ERDAS IMAGINE 8.7. Professional. Из анализа табл.5-7 следует, что трофическое состояние водохранилищ является неоднородным и возрастает к нижней части водохранилищ. Наименьшие ИТС были у Печенежского водохранилища.

Из анализа табл.5, 6 следует, что ИТС Краснооскольского имеют большее значение, чем у Печенежского водохранилища. Центральная часть Краснопавловского водохранилища имела наибольшие ИТС.

Разработанная технология дистанционного мониторинга евтрофирования водоемов Украины также использовалась при трофической классификации 132 водоемов Одесской области. Эти материалы переданы государственной администрации области для решения экологических проблем Одесской области.

Формирование качества вод малых рек и временных водотоков, питающих озера и водохранилища, определяется как ландшафтными особенностями водосбора, так и антропогенной деятельностью человека. Под влиянием антропогенной деятельности на водосборах происходят значительные изменения: возрастает распашка земель; увеличиваются площади, занятые городами, промышленными и сельскохо-



Рис.1 – Печенежское водохранилище,
синтез ТМ 321



Рис.2 – Печенежское водохранилище,
синтез ТМ 432



Рис.3 – Печенежское водохранилище,
синтез ТМ 742



Рис.6 – Краснооскольское водохранилище, синтез ТМ 742



Рис.5 – Краснооскольское водохранилище, синтез ТМ 432



Рис.4 – Краснооскольское водохранилище, синтез ТМ 321



Рис.7 – Кrasнопавловское
водохранилище, синтез ТМ 321



Рис.8 – Кrasнопавловское
водохранилище, синтез ТМ 432

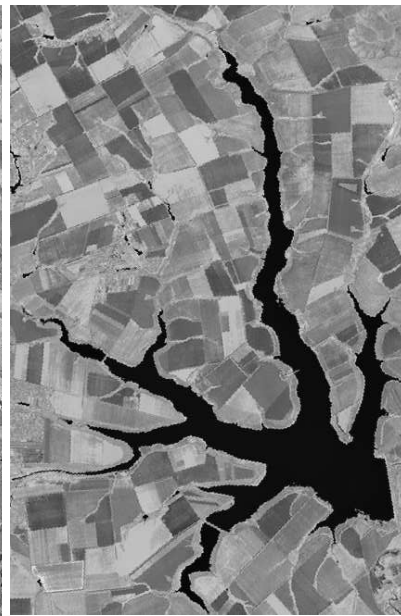


Рис.9 – Кrasнопавловское
водохранилище, синтез ТМ 742

зяйственными предприятиями; сокращаются площади, занятые лугами, лесами и болотами; повышается эрозионное расчленение местности; снижается увлажненность почвы; происходит смена преобладающей растительности и др. В результате этого создается новое равновесие между водосборным бассейном и малой рекой, озером. Оно характеризуется повышенным выносом биогенных веществ и взвешенных наносов в гидрографическую сеть, что приводит к евтрофированию озерных систем.

Таблица 5 – Результаты трофической классификации
Печенежского водохранилища с использованием данных Landsat-7

№ п/п	Район водохранилища	ИТС _(ДС)	ИТС _(ХЛА)
1	с. Рубежное	49,46	51,57
2	с. Петровское	54,05	53,82
3	Выше п. Старый Салтов	53,26	60,92
4	Ниже п. Старый Салтов	49,21	49,11
5	с. Молодовая	57,02	57,99
6	с. Хотомля	51,02	63,26
7	с. Першотравневое	53,26	51,34
8	Выше с. Мартовая	55,31	56,85
9	Ниже с. Мартовая	54,68	66,78
10	п. Печенеги	36,57	64,22

Таблица 6 – Результаты трофической классификации
Краснооскольского водохранилища с использованием данных Landsat-7

№ п/п	Район водохранилища	ИТС _(ДС)	ИТС _(ХЛА)
1	с. Пристин	58,16	60,57
2	с. Геново	60,33	61,28
3	п.Боровая	63,17	66,69
4	с. Бахтин	56,77	66,04
5	Ниже с. Подлиман	56,90	62,26
6	с. Пески Радьковские	61,93	64,79
7	с. Комаровка	65,76	73,89
8	с. Лозовое	61,83	70,04
9	с. Рубцы	62,80	71,16
10	с. Яцковка	35,82	70,17

Таблица 7 – Результаты трофической классификации
Красноповловского водохранилища с использованием данных Landsat-7

№ п/п	Район водохранилища	ИТС _(ДС)	ИТС _(ХЛА)
1	Верх северного залива	56,58	62,70
2	Середина северного залива	59,34	62,72
3	Низ северного залива	63,41	66,734
4	Верх сев. восточного залива	54,05	62,57
5	Низ сев. восточного залива	58,87	60,09
6	Верх западного залива	59,83	59,08
7	Середина западного залива	63,06	69,67
8	Юго-западный залив	58,06	65,90
9	Южный залив выше дамбы	56,87	58,34
10	Центральная часть	61,00	67,50
11	Центральная часть у дамбы	39,05	63,20

Для обоснования водоохраных мероприятий, направленных на замедление и уменьшение процессов антропогенного евтрофирования внутренних водоемов, требуется полная информация:

- характеристики природных и антропогенных ландшафтов водосборов;
- о характере различных источников евтрофирования;
- о путях транспортировки загрязняющих и биогенных веществ в водные объекты.

Существенную помощь при решении этих проблем могут оказать цифровые модели рельефа и уклонов рельефа водосборных территорий. На рис.10-12 представлены цифровые модели рельефа, а на рис.13-15 – цифровые модели уклонов рельефа участков водосборных бассейнов Печенежского, Краснооскольского и Красноповловского водохранилищ. Они получены с помощью данных радарной топографической съемки большей части территории земного шара двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR с многоцветного космического корабля «Шаттл» и пакета программ ERDAS IMAGINE 8.7. Professional. Эти цифровые модели рельефа можно использовать при построении моделей выноса биогенных и загрязняющих веществ с водосборных территорий и при разработке противоэрозионных и водоохраных мероприятий на водосборных бассейнах.

В заключение отметим, что космический мониторинг антропогенных водоемов Украины может найти широкое применение в коммунальном хозяйстве городов для улучшения качества их водоснабжения.

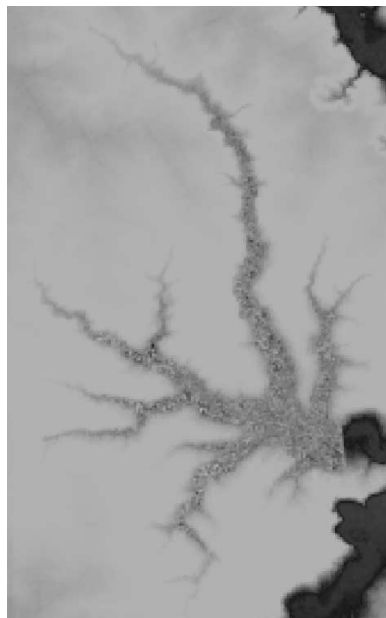


Рис.12 – Модель рельефа
Краснопавловского водохранилища



Рис.11 – Модель рельефа
Краснооскольского водохранилища

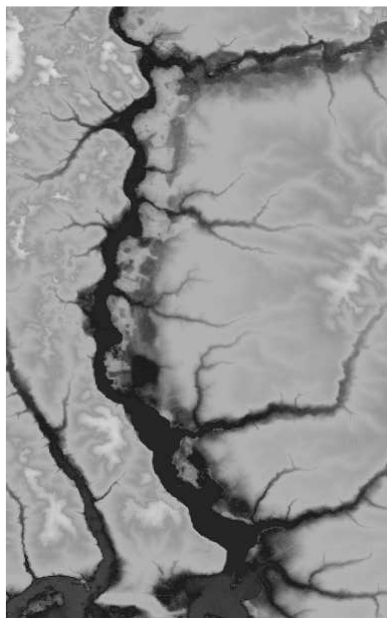


Рис.10 – Модель рельефа
Печенежского водохранилища



Рис.13 – Уклон рельефа
Печенежского водохранилища

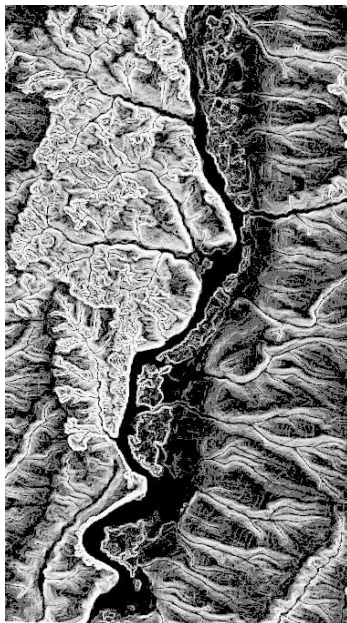


Рис.14 – Уклон рельефа
Краснооскольского водохранилища

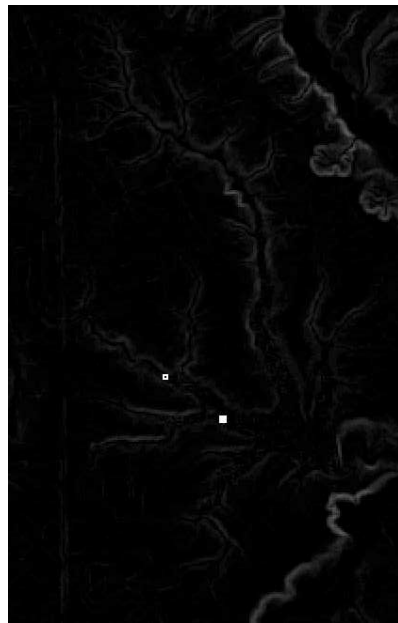


Рис.15 – Уклон рельефа
Краснопавловского водохранилища

- 1.Серенко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и евтрофирование. – К.: Наукова думка, 1978. – 232 с.
- 2.Хендерсон-Селерс Б. Инженерная лимнология : Пер. с англ. / Под ред. К.Я.Кондратьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 336 с.
- 3.Хендерсон-Селерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного евтрофирования: Пер. с англ. / Под ред. К.Я.Кондратьева и Н.Н.Филатова. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 290 с.
- 4.Carlson R.E. A Trophic State Index for Lakes // Limnol. Oceanogr. 22, 1977. – P.361-169
- 5.Kloiber S.M., Brezonik P.L., Olmanson L.G., Bauer M.E. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data // Remote Sensing of Environment. 82. 2002. – P.38-47.
- 6.Sawaya K.E., Olmanson L.G., H.J.Heinert, Brezonik P.L., Bauer M.E. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery // Remote Sensing of Environment. 88. 2002. – P.144-156.
- 7.Brezonik P.L., Menken K.D., Bauer M.E. Landsat-based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) // Lake and Reservoir Management. 21(4). 2005. – P.373-382.
- 8.Кондратьев К.Я., Шумаков Ф.Т. Дистанционный мониторинг евтрофирования водоемов // Водные ресурсы. – 1990. – №5. – С.152-160.
- 9.Кондратьев К.Я., Брук В.В., Дружинин Г.В., Егоров Л.К., Малыхина И.И., Шумаков Ф.Т. Возможности использования космической информации для изучения процессов загрязнения и евтрофирования озерных систем // Исследование Земли из космоса. – 1988. – № 4. – С.49-57.
- 10.Кондратьев К.Я., Львов В.А., Шумаков Ф.Т. Особенности методики использования многозональной космической информации для оценки трофического состояния озерных систем // ДАН СССР. – 1990. – Т.1, №3. – С.571-574.
- 11.Шутенко Л.Н., Торкатюк В.И., Шумаков Ф.Т. Экономические особенности дистанционного мониторинга экологического состояния бассейна р.Северский Донец // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.62. – К.: Техніка, 2005. – С.145-151.

Получено 30.10.2007

УДК 628.14

В.Г.НОВОХАТНІЙ, канд. техн. наук, **О.В.МАТЯШ**

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ПОЧАСОВЕ РЕЗЕРВУВАННЯ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ З РОЗГАЛУЖЕНИМИ МЕРЕЖАМИ

Аналізується можливість підвищення надійності систем водопостачання з мережами розгалуженого типу шляхом створення аварійного запасу води, що знаходиться у водонапірній башті. Запропоновано метод пошуку оптимального місця розташування водонапірної башти з метою підвищення безперебійності водопостачання споживачів (якщо геодезичні позначки суттєво не відрізняються).

Системи водопостачання з мережами розгалуженого типу мають значне розповсюдження в Україні в невеликих населених пунктах. Ви-